



کندو کاوی در مفہوم آنتروپی

تألیف:

رسول عبدالہ میرزائی

(عضو ہیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس دیر شہید رجائی)

معصومہ شاہ محمدی

(کارشناس ارشد آموزش شیمی)

سرشناسه : عبدالله میرزائی، رسول، ۱۳۵۲ -
 عنوان و نام پدید آور : کندو کاوی در مفهوم آنتروپی / تالیف رسول عبدالله میرزائی، معصومه شاه محمدی
 مشخصات نشر : تهران : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۸۸.
 مشخصات ظاهری : ۱۶۵ ص.
 شابک : 978-964-2651-49-8
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا.
 موضوع : آنتروپی
 موضوع : ترمودینامیک
 شناسنامه افزوده : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
 رده بندی کنگره : ۱۳۸۸ ع۲ الف/ QC۳۱۸
 رده بندی دیویی : ۵۳۶/۷۳



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان : کندو کاوی در مفهوم آنتروپی
 تألیف : رسول عبدالله میرزائی، معصومه شاه محمدی
 چاپ اول : پاییز ۱۳۸۸
 انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
 ویراستار ادبی : ص. سلمانی نژاد مهرآبادی
 طراح جلد : آرش عبدالله میرزائی
 لیتوگرافی : فرهنگ صبا
 چاپ : شریف
 ناظر فنی : شهرام طهماسبی
 شمارگان : ۱۰۰۰ جلد
 قیمت : ۲۵۰۰ تومان
 شابک : ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۲۶۵۱ - ۴۹ - ۸
 ISBN: 978 - 964 - 2651 - 49 - 8

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.
 نشانی: تهران، لویزان - کدپستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰
 نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.edu

پیشگفتار

آنتروپی مفهومی است که از زمان ارائه تاکنون به روش های گوناگونی تعبیر شده است. از آنجا که درک مفهوم واقعی آن، یاری رسان ما در بررسی کاربردهای ترمودینامیک خواهد بود، لذا شناخت این مهم، از ارزش ویژه ای برخوردار است. کتاب حاضر می کوشد در دنیای ترمودینامیک و در زمینه ی آنتروپی به کندوکاوی دیگر پرداخته و با بیانی ساده، علاقه مندان این حوزه را از معبری نو با پایه های این علم آشنا سازد. در این راه سعی گشته تا حد امکان به جای روابط ریاضی و ترمودینامیکی از تعبیر فیزیکی استفاده گردد و بین مفهوم آنتروپی و رویدادهای روزمره پلی زده شود. با این حال این نوشتار، خالی از اشکال نیست و ما مشتاقانه منتظر دریافت نظرات دوستان هستیم.

شایسته است از تلاش های صادقانه ی سرکار خانم دکتر حسین نژاد که از نقطه نظر های ارزنده ایشان بهره فراوان بردیم، تشکر نماییم. همچنین از خانواده های خود که با صبر، شوقی پایدار در نگارش این کتاب به وجود آورده و یاری گر ما در این راه بودند، سپاسگزاری نماییم.

رسول عبدالله میرزائی^۱ – معصومه شاه محمدی

^۱ ra.mirzaei@srttu.edu

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل ۱	
۱	آنتروپی و رویکردهای گوناگون به آن
۳	۱-۱- رویکرد بی نظمی
۵	۱-۱-۱- نگاهی تاریخی برای توصیف آنتروپی با عبارت بی نظمی
۹	۱-۲- نمونه هایی از بی نظمی به عنوان یک عصای شکسته برای حمایت توصیف آنتروپی
۹	۱-۲-۱- تغییر آنتروپی در مخلوط شبه پایدار جامد - مایع
۹	۱-۲-۲-۱- امولسیون روغن در آب
۱۰	۱-۲-۳-۱- انبساط گاز در خلاء
۱۲	۱-۲-۴-۱- دو برابر کردن مقدار گاز یا مایع از دیدگاه آنتروپی
۱۲	۱-۲-۵-۱- گازهای تک اتمی، اتم سنگین تر در مقابل اتم سبک
۱۳	۱-۲-۶-۱- کریستال سازی از محلول فرا سیر شده
۱۴	۱-۳-۱- نتیجه گیری از توصیف آنتروپی با مفهوم بی نظمی
۱۷	۲-۱- رویکرد ذره ای- آماری
۲۰	۱-۲-۱- انرژی گرمایی چگونه در مولکول ها ذخیره می شود؟
۲۹	۲-۲-۱- ریز حالت ها و پخش انرژی
۳۵	۳-۲-۱- بررسی نمونه هایی از تغییر آنتروپی بر اساس رویکرد ذره ای- آماری
۳۵	۱-۳-۲-۱- چرا گازها تمایل به انبساط دارند اما هرگز جمع نمی شوند؟
۳۸	۲-۳-۲-۱- چرا گرما از جسم داغ به جسم سرد جریان می یابد؟
۴۱	۳-۳-۲-۱- واکنش های شیمیایی: علت وابستگی ثابت تعادل به دما
۴۶	۴-۳-۲-۱- تغییرات فاز
۴۷	۵-۳-۲-۱- آنتروپی مخلوط و رقیق کردن

صفحه	عنوان
۴۸	۱-۲-۳-۶- آنترپوی، محلول و خواص کولیگاتیو
۴۹	۱-۲-۳-۶-۱- صعود نقطه جوش یک حلال در محلول
۵۰	۱-۲-۳-۶-۲- نقطه ذوب یک حلال در محلول
۵۰	۱-۲-۳-۶-۳- فشار اسمزی
۵۱	۱-۲-۳-۷- تاثیر فشار روی آنترپوی
۵۱	۱-۲-۴- بحث نهایی
۵۳	۱-۳- رویکرد چندگانگی
۵۵	۱-۳-۱- دما و چند گانگی سامانه
۵۷	۱-۳-۲- بحث نهایی
۵۷	۱-۴- آنترپوی و احتمال
۵۹	۱-۴-۱- مثال هایی از تغییر آنترپوی برخی فرایندهای طبیعی از دید احتمال
۵۹	۱-۴-۱-۱- انتشار بخار بنزین
۶۱	۱-۴-۱-۲- تصعید یخ خشک
۶۳	۱-۴-۱-۳- انحلال اتانول در آب
۶۵	۱-۴-۱-۴- آنترپوی و توزیع یکنواخت هوا
۶۸	۱-۴-۲- آنترپوی در صفر مطلق
۷۰	۱-۴-۳- بحث نهایی

فصل ۲

۷۱	آنترپوی و قانون دوم ترمودینامیک
۷۸	۲-۱- مفهوم دما در تعامل با آنترپوی
۸۰	۲-۲- نگاهی مدرن به آنترپوی
۸۲	۲-۳- نگاهی جدید به قانون دوم

صفحه	عنوان
۸۲	۲-۴- توزیع انرژی در مثال های ساده از تغییر آنتروپی
۸۵	۲-۵- ارتباط آنتروپی و بی نظمی
۸۷	۲-۶- آنتروپی و زمان
۹۰	۲-۷- آنتروپی و تغییرات خود به خودی
۹۱	۲-۸- میکرواحالت ها و جریان انرژی گرمایی از اشیای داغ به اشیای سرد
۹۸	۲-۹- مثال هایی از فرایندهای طبیعی خود به خودی
۱۰۰	۲-۱۰- چه چیزی جهت تغییرات خود به خود را تعیین خواهد کرد؟

فصل ۳

۱۰۱	آنتروپی در محاسبات
۱۰۴	۳-۱- حالت فیزیکی
۱۰۵	۳-۲- تعداد مولکول ها
۱۰۵	۳-۳- اندازه مولکول ها
۱۰۶	۳-۴- مخلوط
۱۰۷	۳-۵- انبساط گاز
۱۰۸	۳-۶- دما
۱۰۸	۳-۷- ترکیب های یونی
۱۰۹	۳-۸- افزایش تعداد ذرات
۱۰۹	۳-۹- افزایش حجم
۱۱۰	۳-۱۰- پیچ خوردن یک پلیمر خطی
۱۱۰	۳-۱۱- آنتروپی و ساختار ماده
۱۱۲	۳-۱۲- آنتروپی و غلظت
۱۱۳	۳-۱۳- محاسبه تغییر آنتروپی استاندارد با توجه به جداول و تعیین علامت تغییر آنتروپی با توجه به شرایط ظاهری معادله

صفحه	عنوان
۱۱۸	۳-۱۴- آنتروپی و خود به خودی بودن واکنش
۱۲۲	۳-۱۵- آنتروپی و تعادل
	فصل ۴
۱۲۵	آنتروپی و جهان
۱۳۴	۴-۱- کیهان شناسی و قانون دوم
۱۳۵	۴-۲- زمان، متافیزیک و آنتروپی
۱۳۸	۴-۳- حیات و قانون دوم
۱۴۱	منابع و پیوست
۱۴۶	داده های استاندارد ترمودینامیکی در ۲۹۸ کلوین
۱۵۷	نمایه

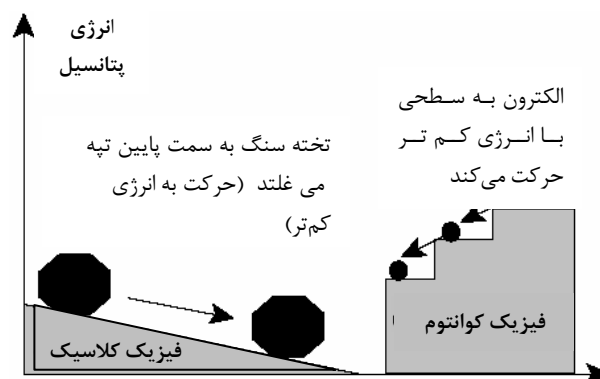
مقدمه

ماده از اتم ساخته شده و به سه شکل جامد، مایع و گاز وجود دارد. دما معیاری از میزان حرکت اتم ها در ماده می باشد. در اتاقی گرم مولکول های اکسیژن و نیتروژن بسیار سریع حرکت می کنند و اگر اتاق سرد باشد ذرات به آرامی در حرکتند. این امر در مورد آب هم صادق است. حتی در یک صخره ی جامد، اتم ها آزادند تا حرکت ارتعاشی داشته باشند و این ارتعاش میزانی از دما است و گرما میزانی از انتقال انرژی است. گرما همیشه از جسم داغ به جسم سرد جریان می یابد. در هنگام برخورد، اتم هایی با سرعت زیاد، انرژی خود را به اتم هایی با سرعت کم تر منتقل می کنند. بنابراین انرژی از جسم داغ به جسم سرد منتقل می گردد. انرژی توانایی انجام کار است. گفته می شود تخته سنگی که در بالای یک تپه قرار گرفته، دارای انرژی پتانسیل است. زمانی که سنگ شروع به غلتیدن به سمت پایین تپه می کند، این انرژی پتانسیل به انرژی سینتیک تبدیل می شود. اگر این تخته سنگ از طریق یک طناب به ارابه ای در سمت دیگر تپه متصل شود، می تواند ارابه را همچنان که به طرف پایین می غلتد، بالا بکشد.

بلند کردن ارابه کار است، در این مثال تخته سنگ هنگام غلتیدن کار انجام می دهد. با غلتیدن تخته سنگ مقداری از انرژی پتانسیل آن به شکل گرما منقل می شود و موجب افزایش دمای تخته سنگ، تپه، هوا و ارابه می گردد. این امر به معنی آن است که با حرکت تخته سنگ به سمت پایین، مقداری از کار انجام شده در بالا بردن تخته سنگ به بالای تپه قابل بازیافت نیست.

زمانی که یک ذره کوچک مانند الکترون در فضای کوچکی محدود می شود نمی تواند مدت زمان زیادی مانند یک ذره عمل کند و انرژی آن کوانتیده می شود. به این معنی که فقط می تواند سطوح انرژی مجزایی را داشته باشد. بهترین راه برای نمایش این امر تصور حرکت یک تخته سنگ به سمت دامنه یک تپه است. در فیزیک کلاسیک شیب دامنه تپه

اجازه می دهد تخته سنگ هر مکانی را بر روی تپه داشته باشد. همچنان که سنگ به سمت پایین تپه پیش می رود به تدریج سرعت می گیرد. افت در میزان انرژی پتانسیل پیوسته است. مقداری از این انرژی به انرژی جنبشی (انرژی مرتبط با حرکت تخته سنگ) و مقداری از آن به گرما تبدیل می گردد. فیزیک کوانتوم بیان دیگری دارد. تپه همانند یک سری از پرتگاه های پر شیب که توسط ناحیه های مسطح جدا شده است، عمل می کند. اتم ها و الکترون ها می توانند فقط روی قسمت مسطح قرار گیرند. هر قسمت مسطح، یک سطح انرژی کوانتومی است. برای اتم ها و مولکول ها این سطح انرژی کوانتومی مشابه با انرژی جنبشی است. به این معنی که اتم هایی با حرکت سریع تر حالت انرژی بالاتر را اشغال می کنند. اتم ها می توانند نوسان کنند، بچرخند و در سرتاسر فضا حرکت نمایند. تمام این حالت های انرژی، کوانتیده هستند [۱].



شکل ۱ فیزیک کوانتوم در مقابل فیزیک کلاسیک

حال سوال اساسی آن است که انرژی چگونه در سامانه های مختلف توزیع می شود و اصولاً آیا نحوه توزیع آن می تواند بر فرایندهای طبیعی موثر باشد؟ پاسخ این سوال در قانون دوم ترمودینامیک نهفته است جایی که مفهوم آنتروپی نمود پیدا می کند. آنتروپی به عنوان بخشی از قوانین ترمودینامیک در زندگی روزمره ما دیده می شود و ما گاه بدون آشنایی با آن، بارها آن را در تجربه روزمره خود به همراه داریم. قانون دوم ترمودینامیک در

بسیاری از تجربیات زندگی روزمره ما دیده می‌شود که می‌توان در مثال‌های زیر خلاصه کرد [۲].

۱- سرد شدن ظرف داغ

این فرایند مثالی از پخش فوری انرژی می‌باشد، زیرا جسم داغ تمایل زیادی دارد تا انرژی ذرات پر سرعت خود را (که ما معمولاً آن را گرما می‌نامیم) در فلز، شیشه یا هر چیز دیگری که در تماس با آن است همانند هوای سردتر اتاق، پراکنده سازد که در این حالت مولکول‌هایی با حرکت آرام‌تر بر سرعت خود می‌افزایند.

۲- انفجار بنزین

این مورد مثالی از یک پخش باز داشته شده با منشأ یک واکنش شیمیایی است. تمایل بنزین به واکنش با اکسیژن زیاد است؛ اما تنها زمانی انجام می‌شود که مقداری انرژی خارجی از یک جرقه یا شعله کوچک، به آن برسد. بنابراین اکسیژن و بنزین می‌توانند قسمتی از انرژی ذخیره شده در پیوندهای خود را پراکنده ساخته و کربن دی‌اکسید و بخار آب را که انرژی کم‌تری در پیوندهای خود دارند تشکیل دهند. تفاوت در انرژی مواد واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها بین تمام مولکول‌ها (اکسیژن، نیتروژن، کربن دی‌اکسید، بخار آب، کربن منواکسید و غیره) پراکنده می‌شود. این امر باعث حرکت شدید آن‌ها شده و فشار در یک فضای بسته ناگهان افزایش می‌یابد.

۳- پنچر شدن لاستیک و مخلوط شدن خامه در قهوه

مثال‌های یاد شده شامل مواردی هستند که مواد انرژی خود را بدون تغییر در فضای جدید پراکنده می‌کنند. در این مثال‌های ناهمگون، هیچ تغییری در انرژی اولیه یا دما دیده نمی‌شود. با انبساط یک گاز که افزایش حجم را به دنبال دارد، انرژی اولیه در فضایی بزرگ‌تر پخش می‌شود و مخلوط کردن باعث پراکندگی مولکول‌ها می‌گردد.

۴- ماشین مسابقه

در این مثال تمام مولکول‌های لاستیک و اتم‌های ماده تشکیل دهنده شیشه و فلز دارای انرژی جنبشی زیاد در میدان مسابقه هستند. به هنگام متوقف شدن باید انرژی جنبشی به طریقی در جایی پراکنده شود. اگر یک دیوار آجری آن را متوقف کند مقادیر

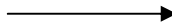
زیادی از انرژی جنبشی در ماشین به صورت صدا، انرژی جنبشی قطعاتی که پس از برخورد ماشین با دیواره پرتاب می شوند، گرم شدن آجرها و قطعات گرم و خرد شده لاستیک، شیشه و فلز آسیب دیده تغییر می کند. یک توزیع گسترده انرژی که قبلاً در حرکت ماشین متمرکز گشته بود.

اگر به مولکول ها و اتم های پر انرژی فرصتی داده شود انرژی جنبشی خود را در یک حجم بزرگ تر پراکنده خواهند کرد یا به دیگر مولکول ها که دارای سرعت کم تری هستند یعنی در دمای پایین تری قرار دارند، منتقل می کنند.

۵- فرایند مخلوط شدن اشیا با کاغذ ها در روی میز یا لباس ها در یک کمد

در صورت اثر انرژی بر اجسام مرئی از سنگ ریزه ها گرفته تا کاغذ، هر یک می توانند به محل هایی تصادفی منتقل گردند که به بزرگی و نوع انرژی منتقل شده به این اشیا، بستگی دارد. یک اشتباه متداول در تفسیر آنتروپی زمانی است که افزایش آنتروپی در اجسام را به پخش تصادفی آنها با آرایش نامنظم در مقایسه با حالت آرایش منظم که برای آنها در نظر می گیریم، تعریف نماییم. این امر تفسیری نادرست است. این تعبیر، توجه به نیمه ی تأثیر ناپذیر (انفعالی) یعنی اشیا به جای انرژی است که به اجسام نیرو وارد کرده و طی فرایند پراکنده می شود!

واکنش خود به خود با گذشت زمان



تلاش برای ساماندهی نیاز به صرف انرژی دارد

(شکل ۲) استفاده از اتاق منظم و نامنظم در توصیف مفهوم آنتروپی

تغییر آنتروپی باید با پراکنده شدن انرژی انجام شود. اگر انرژی اجسام پس از حرکت تغییر نکند در آنتروپی آنها تغییری رخ نخواهد داد. بنابراین هیچ افزایشی در آنتروپی نیز ایجاد نمی شود؛ اگر انرژی از آن ها به محیط یا از محیط به آنها توزیع نگردد. اطلاق به هم ریخته ی یک دانش آموز ممکن است دارای نمای مرتبی نباشد اما هیچ افزایشی در آنتروپی اجسام را در مقایسه با اطلاق مرتب اولیه نشان نمی دهد. تنها تغییر انرژی رخ داده پراکنده شدن انرژی در ماهیچه های دانش آموز در طی پرتاب یا انداختن اشیا به اینجا و آنجا است و نه در خود اشیاء.

کارت های به هم ریخته مثالی نادرست از افزایش آنتروپی است؛ زیرا بی نظمی آن ها به علت توزیع انرژی در ماهیچه های فرد پراکنده کننده می باشد که از ATP برای حرکت کارت ها استفاده می کند. آنتروپی کارت ها دستخوش تغییر نمی شود؛ زیرا هیچ توزیعی از انرژی در درون آن ها اتفاق نمی افتد. تغییر آنتروپی (ΔS) میزان انرژی پراکنده شده در سامانه یا میزان انرژی پراکنده شده توسط سامانه می باشد. قانون دوم ترمودینامیک واقعیت توزیع انرژی جنبشی مولکولی را بیان می کند؛ اگر مانعی برای این کار وجود نداشته باشد. با توجه به این مثال ها تمام وقایع خودبخودی در جهان مادی به دلیل وجود پراکندگی انرژی در آن ها، مصداق هایی از قانون دوم هستند. قانون دوم به دقت احتمال توزیع انرژی را که در گروهی از مولکول ها یا اتم ها متمرکز گشته پیشگویی می کند. در مواردی این امر به وقایع نامطلوب در گذر از تصادف های جدی به آتش سوزی مهیب جنگل ها یا به مرگ غایی ما منجر می شود. قانون دوم در این مفاهیم "بدترین بد" ما است. بهر حال قانون دوم در مورد مدت و زمانی که پیشگویی او به وقوع می پیوندد خاموش می ماند [۳].

واژه آنتروپی یا اِنْتروپی^۱ در رشته های گوناگون علمی، معانی متفاوتی پیدا کرده است که تعدادی از آن ها در زیر آورده شده اند [۴].

- برای یک فرآیند بسیار کوچک برگشت پذیر داریم:

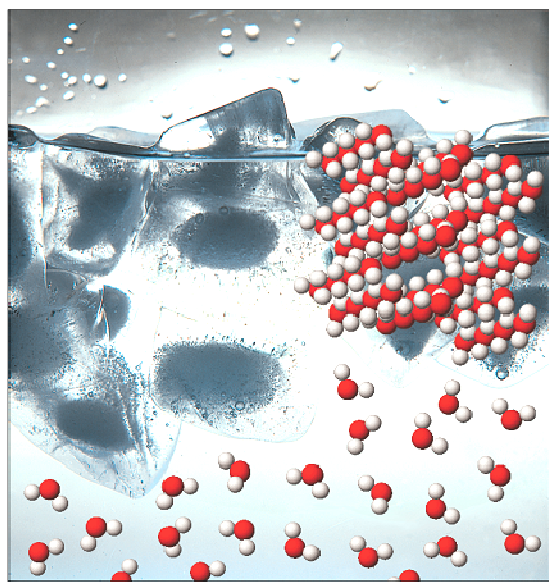
¹ Entropy

$$dS = \frac{\delta q_{rev}}{T}$$

- آنتروپی پیکان زمان یعنی یک شاخص اساسی زمان است.
- از دیدگاه انرژی آزاد، آنتروپی با مقدار انرژی که برای انجام کار در طی یک فرایند خاص در دسترس نباشد، ارتباط دارد.
- آنتروپی معیاری از اشتباهات تصادفی است که در هنگام انتقال یک سیگنال به وجود می‌آید. بنابراین می‌تواند معیاری از بازدهی سامانه ارسال پیام باشد.
- آنتروپی معیاری از تعداد حالت‌های داخلی است که یک سامانه می‌تواند داشته باشد، بدون آن که برای یک ناظر خارجی که فقط کمیت‌های ماکروسکوپی (مثل جرم، سرعت، بار و...) آن را مشاهده می‌کند، متفاوت به نظر برسد.
- آنتروپی میزان به هم ریختگی یا تخریب در جهان است که انرژی در دسترس را کاهش می‌دهد یا تمایل انرژی در دسترس را برای کاهش تدریجی نشان می‌دهد (شلوگی در برابر نظم).
- حالت بی‌نظمی در یک سامانه ی ترمودینامیکی، انرژی بیشتر و در نتیجه آنتروپی بالاتر را به دنبال خواهد داشت.
- آنتروپی به عنوان میزان انرژی غیرمفید در میان یک سامانه ی بسته یا ایزوله (مثل جهان) تعریف می‌گردد. با کاهش انرژی مفید و افزایش انرژی غیرقابل استفاده، آنتروپی زیاد می‌شود. همچنین در ارتباط با تصادفی و شلوغی سامانه، با اتلاف انرژی مفید به طور جبران ناپذیر، به هم ریختگی، تصادفی بودن و بی‌نظمی کامل افزایش می‌یابد [۵].

فصل اول

آنتروپی و رویکردهای گوناگون به آن



آنتروپی و رویکردهای گوناگون به آن

مفهوم آنتروپی را می توان از زوایای مختلف بررسی کرد. در نگاهی کلی، از طریق رویکردهای زیر می توان آن را مورد کندوکاو قرار داد:

- ۱- رویکرد بی نظمی
- ۲- رویکرد ذره ای - آماری
- ۳- رویکرد چند گانگی
- ۴- رویکرد احتمال

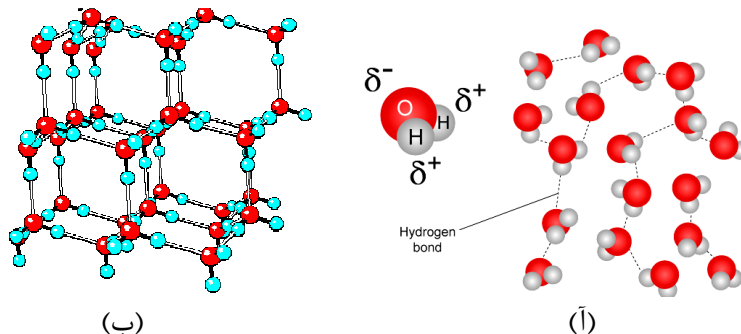
۱-۱- رویکرد بی نظمی

متون مقدماتی شیمی، اغلب برای کمک به تجسم افزایش آنتروپی در فراگیران از ترسیم های قبل و بعد گروهی از مولکول ها که بی نظم شده اند، استفاده می نمایند. این امر یک ناهنجاری تاریخی است که حتی از زمان معرفی سطوح انرژی کوانتایی به شیمی مقدماتی، وجود داشته است. به نظر می رسد نظم - بی نظمی یک تکیه گاه بصری آسان باشد، اما به شدت می تواند باعث گمراهی شود. آن چنان که به عنوان یک عصای ناتوان تا یک پشتیبان حقیقتاً معتبر، در نظر گرفته می شود.

اغلب آنتروپی را به میزان بی نظمی یک سامانه ارجاع می دهند. هرچه بی نظمی بیشتر باشد، آنتروپی سامانه بیشتر خواهد بود و از نظم به عنوان معیاری برای کم بودن آنتروپی تعبیر می شود. عبارات و مثال های زیر این موضوع را نشان می دهد [۶]:

- به نظر می رسد مولکول های آب در یک قطره با حجمی محدود، نسبت به حالتی که در تمام اتاق به شکل بخار پخش شده اند از نظم بیشتری برخوردار باشند.

- اگر مولکول های آب در این قطره به آرایش هگزاگونال چیده شوند (یخ) از نظم بیشتری برخوردار می شوند. در واقع آنتروپی یخ کم تر از همان مقدار آب و آن نیز کم تر از همان مقدار بخار آب است. (شکل ۱-۱)
- اگر تمام هوای اتاق شما در یک گوشه جمع گردد به نظر می رسد دارای نظم بیشتری از حالت پخش شده در تمام فضا باشد.
- اگر انرژی موجود در آشپزخانه شما در یک کاسه سوپ متمرکز شود، ممکن است به نظر برسد که از نظم بیشتری نسبت به حالتی که انرژی در تمام اتاق پخش شده، برخوردار است. حالت های منظم تر حالت هایی با آنتروپی کم تر هستند.
- اتاقی که هر لنگه از جوراب های جفت نشده در تمام فضای آن پخش شده اند نسبت به اتاقی که جوراب ها جفت شده و لباس ها در کشو قرار گرفته اند از آنتروپی بیشتری برخوردار است.



(ب)

(آ)

شکل (۱-۱) آرایش منظم مولکول های آب در یخ (ب) باعث کاهش آنتروپی آن نسبت به همان مقدار آب (آ) می شود.

اما آنتروپی چیزی بیش از این است. می دانیم که در یک روز سرد آب یخ می زند. واضح است که مولکول های آب منظم تر می شوند و آنتروپی آن کاهش می یابد. این امر به این معنی است که در جایی دیگر باید افزایشی در آنتروپی دیده شود. این افزایش در



اتمسفر است آنجا که مولکولهای آب گرمای خود را از دست می دهند اما هوا واقعاً بی نظم تر نمی شود.

تصور آنتروپی به عنوان بی نظم می تواند باعث گمراهی شود. اساساً مادامی که نظم و بی نظم برای آنتروپی مهم هستند، توجهی به عامل بسیار مهم یعنی گرما نمی شود. گه گاه شنیده می شود که سیر تکامل، قانون دوم ترمودینامیک را نقض می کند. این سوء تفاهم از تعریف آنتروپی به عنوان بی نظم نشأت گرفته است. ادعای فوق به این تعبیر باز می گردد که بدن انسان به طریقی آرایش یافته که نمی تواند از موجودی با پیچیدگی کمتر بدون تضاد با قانون دوم ترمودینامیک تکامل یافته باشد. مشکل این استدلال آن است که چنین افرادی، افزایش آنتروپی در فرایندهای شیمیایی را که در ایجاد و رشد یک انسان رخ می دهد، در نظر نمی گیرند زیرا در ظاهر هیچ افزایش قابل مشاهده ای در بی نظم وجود ندارد. اگر فقط از دیدگاه بی نظم به آنتروپی نگاه کنیم، بسیاری از رویدادها را از دست داده و به یک نتیجه اشتباه می رسیم.

۱-۱-۱- نگاهی تاریخی برای توصیف آنتروپی با عبارت بی نظم

همان طور که مشهور است در سال ۱۸۶۵ کلازیوس^۱ نام آنتروپی را بر یک خارج قسمت منحصر به فرد برای مراحل یک تغییر برگشت پذیر در عبارت انرژی گرمایی تقسیم بر دمای مطلق قرار داد [۷] و [۵۱]:

$$S = q / T \quad (1-1)$$

¹ Clausius



شکل ۱-۲ کلازیوس: انرژی جهان ثابت بوده و آنتروپی آن افزایش می‌یابد.

او فقط توانست به خوبی روی رفتار سامانه‌های شیمیایی به عنوان واحدهای ماکرو متمرکز گردد. زیرا در این دوره تاریخی حتی راجع به واقعیت وجودی اتم‌ها، شکی قابل توجه وجود داشت. بنابراین رفتار مولکول‌ها یا گروه‌های مولکولی در درون یک سیستم ماکرو کاملاً یک موضوع حدسی بود [۵۲]. بعدها در قرن ۱۹ اما هنوز پیش‌تر از ظهور مکانیک کوانتوم، بی‌نظمی بیشتر یک گاز در دمای بالا با توزیع سرعت‌های آن در دمای پایین مقایسه شده و توسط بولتزمن^۲ برای توصیف آنتروپی بیشتر آن، انتخاب گردید. با این وجود بی‌نظمی، یک عصا و یک تکیه‌گاه ساختگی برای تجسم آنتروپی بود و نمی‌توانست علت نظری یا فیزیکی بنیادی برای توجیه میزان افزایش آنتروپی یک سامانه باشد.



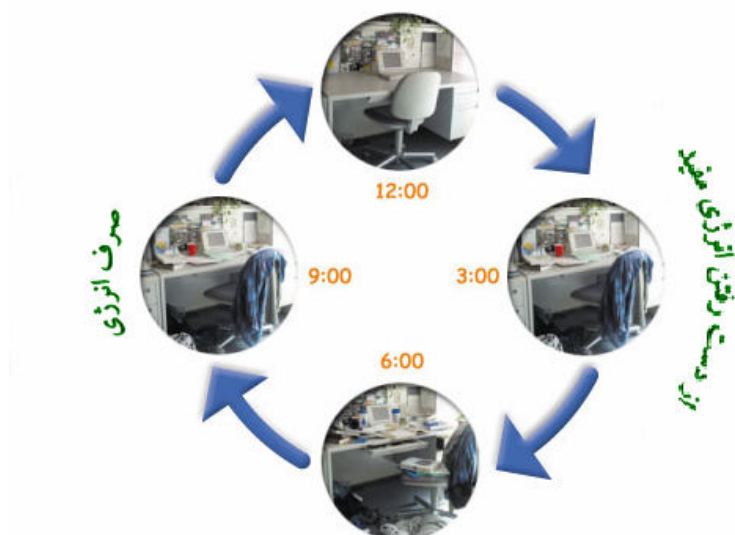
شکل ۱-۳ بولتزمن و ارائه دیدگاه بی‌نظمی



هلمهولتز^۳ در سال ۱۸۸۲ آنتروپی را تحت نام بی‌نظمی بیان کرد [۵۳] و گیبس با توصیف آنتروپی به عنوان یک آشفتگی^۴ (عبارتی که پس از مرگش در نوشته‌های او یافت گردید و توسط نویسندگان زیادی به کار برده شد) آن را امریکایی کرد [۵۴]. امروزه اغلب متون شیمی عمومی همچنان بر مفهوم نظم-بی‌نظمی با چند مثال یا به عنوان یک تکیه‌گاه بزرگ که در اکثر اوقات با استدلال شکست می‌خورد، تاکید می‌نمایند. در قرن گذشته، فاحش‌ترین اشتباهات در ارتباط با آنتروپی به سادگی با تکیه بر تعریف آن به عنوان بی‌نظمی رخ داده است. زیرا بی‌نظمی یک واژه زبانی مشترک با معنای ضمنی غیر علمی است. قصد بولتزمن از آن هر چه که بوده هیچ مدرکی مبنی بر این که او بی‌نظمی را در هر معنایی غیر از کاربرد صریح آن برای توزیع انرژی‌های مولکولی استفاده کرده باشد، وجود ندارد. اما او یک دانشمند علوم اجتماعی یا یک داستان‌نویس نبود. او شیمیدانی بود که در کتابش در باره ی آنتروپی توسط اجسامی که خود به خود به سمت بی‌نظمی یا اغتشاش حرکت می‌کنند، بحث کرده بود. توصیف رفتار اشیای ماکرو به این روش بی‌معنی است؛ زیرا اشیایی مانند برگه‌های کاغذ در حالت سکون، رفتاری شبیه مولکول‌ها دارند، با وجود این واقعیت که حرکت اجسام واقعی غیرخود به خودی بوده و علت وقوع آن‌ها عوامل خارجی نظیر انسان، باد و زمین لرزه می‌باشد. نکته مهم در اینجا این است که این نوع از خطا اساساً به دلیل تمرکز بر روی بی‌نظمی به جای علت صحیح تغییر آنتروپی یعنی جریان انرژی در مسیر «پخش شدن» می‌باشد.

³ Helmholtz

⁴ Mixed-up-ness



شکل (۴-۱) تغییر شکل های انرژی به طور خود به خود در جهتی است که ماده از یک حالت منظم به حالتی نامنظم تبدیل می شود. برای پایداری نظم باید انرژی به طور پیوسته به سامانه وارد شود.

آنتروپی میزان بی نظمی یا اغتشاش نیست. همچنین آنتروپی یک نیروی پیش برنده نیست. نیروی پیش برنده در شیمی، توزیع انرژی، پراکندگی یا انتشار در یک حالت نهایی در مقایسه با یک حالت اولیه می باشد. آنتروپی شاخصی از پخش انرژی در میان یک سامانه و بین سامانه و محیط آن است. در ترمودینامیک، تغییر آنتروپی خارج قسمت dq/T است که مقدار جریان یک سویه انرژی گرمایی را توسط dS اندازه می گیرد. به بیان مناسب دیگر، تغییر آنتروپی، پخش انرژی در دمای معین می باشد. مفهوم پخش انرژی به انتقال انرژی گرمایی بین سامانه و محیط محدود نمی شود. در فرایند انبساط یک گاز در خلأ آنجا که dq برابر صفر است، انرژی کل سامانه در میان حجمی بزرگ توزیع گشته است و بنابراین افزایشی در آنتروپی قابل پیش بینی می باشد.

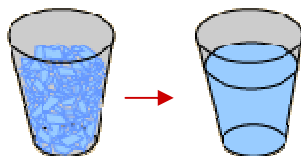
۱-۲-۱- نمونه‌هایی از رویکرد بی‌نظمی به عنوان یک عصای شکسته برای

توصیف آنتروپی

مثال‌های زیر خطر استفاده صرف از کلمه زبانی مشترک "بی‌نظمی" در توصیف آنتروپی را نشان می‌دهد [۷].

۱-۲-۱-۱- تغییر آنتروپی در مخلوط شبه پایدار جامد-مایع

یک لیوان شیشه‌ای معمولی حاوی آب را که دارای تکه‌های یخ خرد شده شناور در آن است، در نظر بگیرید. این سامانه بی‌نظمی ماکرو، قطعات بی‌قاعده یک جامد و مایع را به تصویر می‌کشد. تغییر خود به خود در محتویات لیوان در جهت یک نظم آشکار است! در عرض چند دقیقه، فقط یک مایع شفاف همگن وجود خواهد داشت. پخش انرژی از محیط گرم‌تر اطاق به یخ موجود در سامانه، عاملی برای ذوب آن می‌باشد. به نظر می‌رسد شلوغی و ظاهر نامنظم خرد شده‌های یخ دارای بی‌نظمی بیشتری در مقایسه با لیوان آب باشند که یکنواخت و همگن دیده می‌شود. اما تعداد راه‌های آرایش مولکول‌ها در خرد شده‌های یخ محدود است. مولکول‌های آب در لیوان آب به روش‌های متنوع تری می‌توانند آرایش یابند. آنها دارای چندگانگی بیشتر و بنابراین آنتروپی بزرگ تری هستند [۸].



شکل (۱-۵) کدام یک بی‌نظم تر است؟ لیوان حاوی تکه‌های یخ خرد شده یا لیوان آب؟

۱-۲-۱-۲- امولسیون روغن در آب

برای کسانی که شنیده‌اند آنتروپی فقط بی‌نظمی است و این که به طور خود به خود در گذر زمان افزایش می‌یابد، یک مسئله پیچیده به هنگام مخلوط یک روغن گیاهی با آب برای تولید امولسیون منظم از روغن و آب پیش می‌آید. به هر حال در غیاب یک

Oil, water, emulsifier

Oil, water

۱-۱-۲-۳- انبساط گاز در خلأ

هنگامی که این فرایند خود به خودی در متون علمی با نمایش چند مولکول نقطه ای مانند شکل (۷-۱) به تصویر کشیده می‌شود، استفاده از واژه‌ی بی نظمی به عنوان دلیلی برای افزایش آنتروپی یا خنده دار است یا تلاشی در استدلال‌های پر پیچ و خم و فریبکارانه می‌باشد. تجسم فراگیران از این مثال ممکن است توده ای نامنظم از جمعیت باشد که قبل از خطوط پلیس ایستاده اند. چگونه می‌توان بی نظم تر شدن این توده را با پخش افراد در تمام شهر توجیه کرد؟ فراگیران بی تجربه^۵ که در جهت تمرکز بر مفهوم افزایش بی نظمی به عنوان یک شاخص افزایش آنتروپی راهنمایی شده اند، خواهند گفت که ΔS در شکل (۷-۱) مثبت است و به راحتی در چند جهت گنج می‌شوند [۴۸].

⁵ Native student